

# SLAMレーザスキャナでの直角ターゲットの有効性について

川又 楓太・榎本 みな・高野 敦・大泉 純也・檀上 拓也 (国際航業株式会社)

## 1. はじめに

昨今、建築・土木業の生産性向上を目的としたi-Constructionが推進され、測量により作成した点群データの共通利用を促進することで建設生産システム全体の生産性向上を目指す動きがある。三次元点群測量の新たな手法として、計測器機の自己位置を推定すると同時に点群データを取得するSLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術を用いたSLAMレーザスキャナによる測量が注目されている。手持ちタイプのSLAMレーザスキャナ (以下、手持ちレーザスキャナと呼ぶ) は軽量かつ、歩くだけで計測が可能であるため、従来の測量では取得が難しい詳細部の計測での利用や、作業効率の向上に対する寄与が期待できる器機である。

手持ちレーザスキャナによる測量は、計測方法、精度管理手法等が規定されておらず、手持ちレーザスキャナによる測量の有効性に関する検証は未だ十分に行われてはいない。本検証では、地形測量および応用測量において手持

ちレーザスキャナを適用することを想定して、座標変換の確実な精度確保及び作業効率化の検証実験を行い、一般的な球ターゲットを用いた場合と国際航業が考案した直角ターゲットを用いた場合で標準偏差の較差を比較し、手持ちレーザスキャナにおける直角ターゲットの有効性を検証した。

また、取得した点群データと横断測量の実測データ及び据置型レーザスキャナで取得した点群データから作成した横断線を比較し、手持ちレーザスキャナの地形測量の補備測量における活用の可能性を検証した。

## 2. 検証方法

本検証の流れを図1に示す。本検証における「調整点」とは、解析結果の点検や調整処理に必要な水平位置及び標高の基準となる点 (以下、調整点と呼ぶ) を示し、「検証点」とは、作業範囲において観測した点群データの検証を行う点 (以下、検証点と呼ぶ) を示す。調整点及び検証点をTS (トータルステーション) にて計測し、

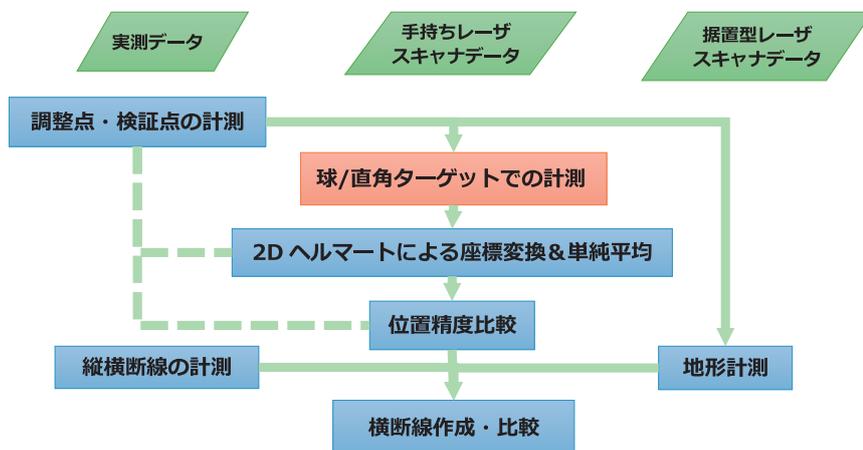


図1 検証フロー

手持ちレーザスキャナを用いて据置型レーザスキャナで一般的に用いられる球ターゲットと、球ターゲットでは物理的な中心位置が判断しにくい課題を解決するために国際航業が考案した直角ターゲットの2種類を設置して位置精度の検証を行った。また、調整点と同一箇所から据置型レーザスキャナで計測し、2種類の点群データから横断線を作成して地形測量の補備測量における活用可能性を検証した。

使用機器の仕様の比較及び今回使用した

ターゲットをそれぞれ表1、図2に示す。

検証サイトを図3に示す。路線測量において基準点が中心線付近に配置された場面を想定し、調整点を直線上、かつ、等間隔で設置が可能な府中市内の多摩川の河川敷を検証場所とした。また、調整点の両側及び調整点間の中間に検証点を計11か所に設置した。その後、調整点と同一箇所に据置型レーザスキャナを設置し、一点固定一方向指定により計測を行った。

表1 使用機器

| 製品名       | 【手持ち】 ZEB-HORIZON  | 【据置型】 Trimble SX10 |
|-----------|--|--------------------|
| レーザスキャナ   | Velodyne VLP-16  | Trimble SX10       |
| 製造会社      | GeoSLAM  | Trimble            |
| 計測点数(点/秒) | 300,000  | 26,600             |
| 最大計測距離    | 100m   | 600m               |
| 測定精度      | ±0.030m  | ±0.0025m           |
| 重さ        | 1.3kg  | 7.5kg              |
| バッテリー使用時間 | 3時間  | 2~3時間              |
| 計測風景      |  |                    |

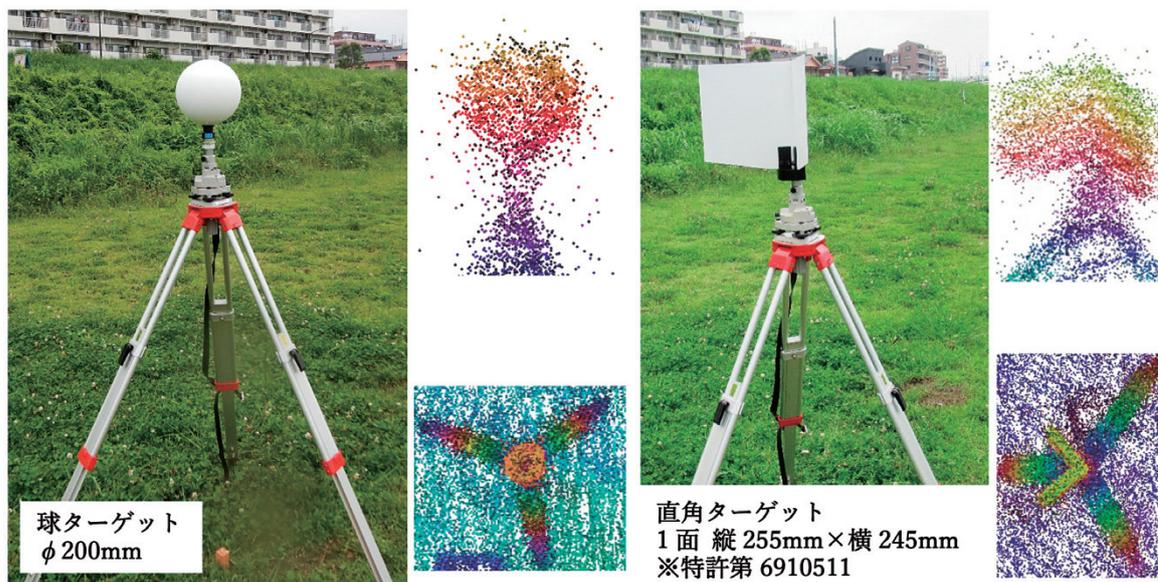


図2 使用したターゲット

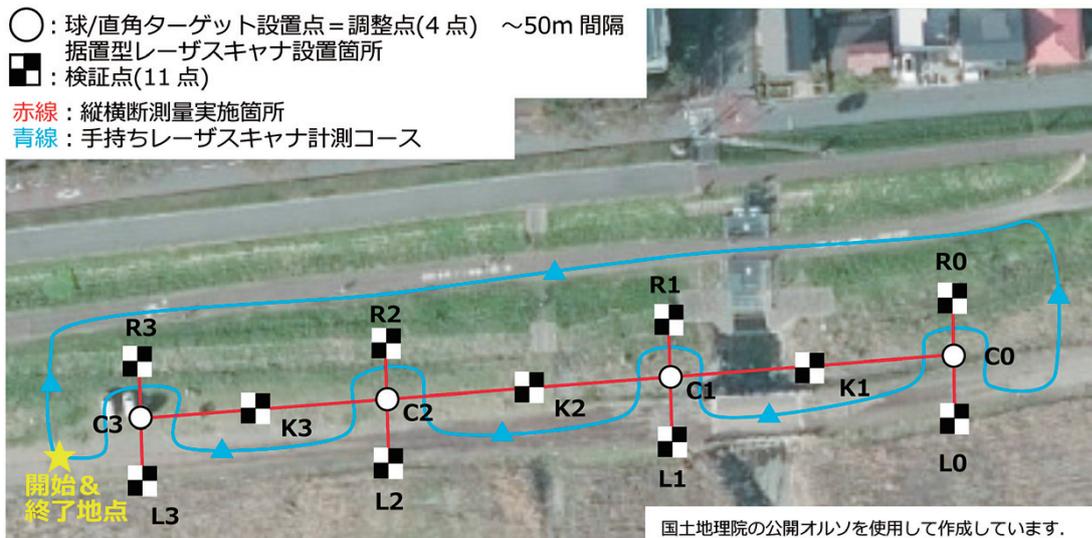


図3 検証サイト

### 3. 検証結果

#### 3.1 手持ちレーザスキャナにおける直角ターゲットの有効性の検証

球ターゲットは、ターゲットに当たった点群データのみを抽出し、計算プログラムを介して最小二乗法により球の中心の座標値を推定した。対して、直角ターゲットはCAD上にて2枚の平面の接合線の上端を線で描画し、その交点の座標値を抽出した(図4)。

取得した点群データを局地座標から公共座標に変換するために各調整点の実測値と点群から抽出した座標値を用いて、水平位置は2Dヘルマート変換、標高は単純平均を実施し、ターゲットの違いによる標準偏差の較差を算出した(表2)。また、検証点の実測値と変換によって得られた座標値との較差の比較を行った

(表3)。各ターゲットの誤差の標準偏差の較差を確認したところ、直角ターゲットは球ターゲットと比較し、水平8mm高さ37mm小さい値となった。よって、座標変換時において直角ターゲットでも球ターゲットと同等の精度を確保できると思われる。また、標定時に点群から座標読み取りしやすい形状であることから、直角ターゲットは有効と判断できる。

#### 3.2 手持ちレーザスキャナの地形測量の補備測量における活用可能性の検証

取得した点群データを実測値と比較するために手動フィルタリングを実施し各断面(C0~C3)の横断図を作成した。中心から1m毎の位置で比較した結果を図5に示す。手持ちレーザスキャナで取得した点群データは実測値との標

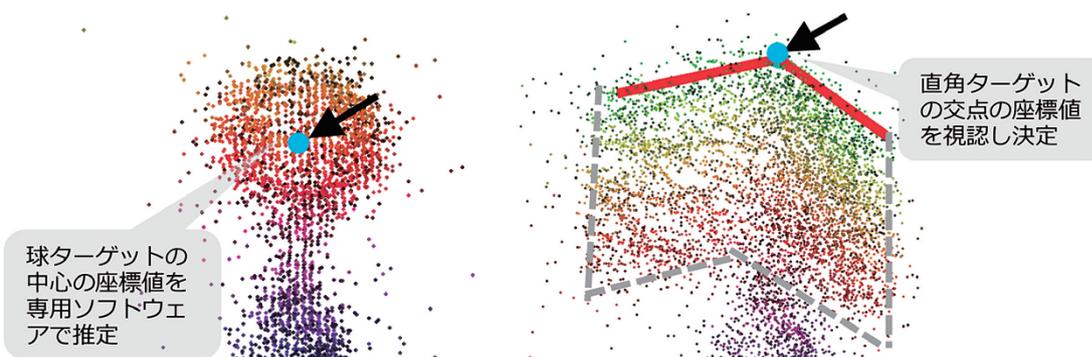


図4 各ターゲットの座標値の推定方法

表2 2Dヘルムート変換及び標高値での平均計算の結果と比較

| 球ターゲット |        |        |       |        | 直角ターゲット |        |        |       |        |
|--------|--------|--------|-------|--------|---------|--------|--------|-------|--------|
|        | Dx     | Dy     | Dxy   | Dz     |         | Dx     | Dy     | Dxy   | Dz     |
| C0     | -0.013 | 0.003  | 0.013 | 0.166  | C0      | -0.008 | -0.003 | 0.008 | 0.109  |
| C1     | 0.006  | -0.003 | 0.007 | 0.029  | C1      | 0.007  | 0.001  | 0.007 | 0.021  |
| C2     | 0.026  | -0.002 | 0.026 | -0.109 | C2      | 0.010  | 0.008  | 0.013 | -0.064 |
| C3     | -0.020 | 0.003  | 0.020 | -0.086 | C3      | -0.009 | -0.006 | 0.011 | -0.066 |
| 最大値    | 0.026  | 0.003  | 0.026 | 0.166  | 最大値     | 0.010  | 0.008  | 0.013 | 0.109  |
| 標準偏差   | 0.021  | 0.003  | 0.018 | 0.109  | 標準偏差    | 0.010  | 0.006  | 0.010 | 0.072  |

単位：m

| 標準偏差の較差 (直角ターゲット-球ターゲット) |             |
|--------------------------|-------------|
| $\Delta Dxy$             | $\Delta Dz$ |
| -0.008                   | -0.037      |

単位：m

表3 検証点との座標較差の比較

|      | 球ターゲット |       | 直角ターゲット |        | ターゲット較差      |             |
|------|--------|-------|---------|--------|--------------|-------------|
|      | Dxy    | Dz    | Dxy     | Dz     | $\Delta Dxy$ | $\Delta Dz$ |
| 平均値  | 0.024  | 0.005 | 0.024   | -0.021 | 0.000        | -0.027      |
| 最大較差 | 0.049  | 0.140 | 0.044   | 0.127  | 0.005        | 0.013       |
| 標準偏差 | 0.028  | 0.074 | 0.026   | 0.078  | 0.002        | -0.004      |

単位：m

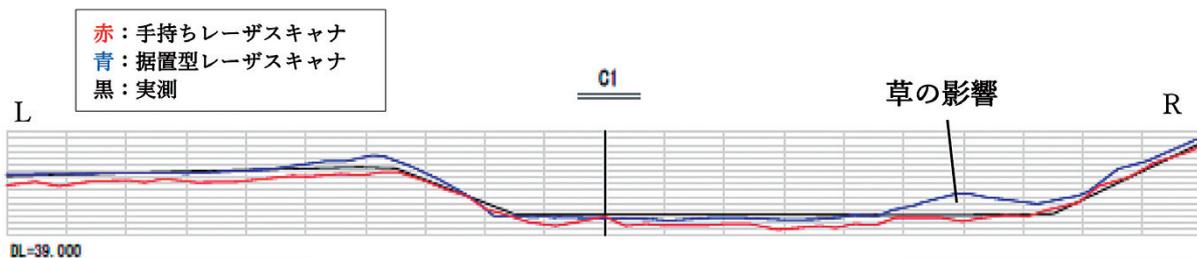


図5 実測データと点群データの横断図比較

表4 実測データと点群データの比較

| 手持ちレーザーキャナ |       |       |       | 据置型レーザーキャナ |       |       |       |
|------------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|
| 左側         |       | 右側    |       | 左側         |       | 右側    |       |
| 点名         | 実測との差 | 点名    | 実測との差 | 点名         | 実測との差 | 点名    | 実測との差 |
|            |       | 0     | 0.036 |            |       | 0     | 0.056 |
| L1         | 0.152 | R1    | 0.164 | L1         | 0.034 | R1    | 0.087 |
| L2         | 0.088 | R2    | 0.145 | L2         | 0.088 | R2    | 0.048 |
| L3         | 0.019 | R3    | 0.222 | L3         | 0.106 | R3    | 0.077 |
| L4         | 0.115 | R4    | 0.173 | L4         | 0.160 | R4    | 0.030 |
| L5         | 0.124 | R5    | 0.038 | L5         | 0.069 | R5    | 0.112 |
| L6         | 0.166 | R6    | 0.094 | L6         | 0.008 | R6    | 0.330 |
| L7         | 0.149 | R7    | 0.032 | L7         | 0.031 | R7    | 0.188 |
| L8         | 0.114 | R8    | 0.011 | L8         | 0.000 | R8    | 0.090 |
| L9         | 0.162 | R9    | 0.021 | L9         | 0.015 | R9    | 0.137 |
| L10        | 0.142 | R10   | 0.051 | L10        | 0.030 | R10   | 0.056 |
| 平均         |       | 0.106 |       | 平均         |       | 0.084 |       |
| 標準偏差       |       | 0.061 |       | 標準偏差       |       | 0.073 |       |

単位：m

高差が0.250m以内に収まっており、地形に沿って計測できている。また、据置型レーザスキャナでは「R6」のように一部草の上を計測している箇所を確認できるが、手持ちレーザスキャナは計測ルートによって、遮蔽物があっても地表面を計測できており、実測データに近い計測結果が得られた。

#### 4. 結論

手持ちレーザスキャナを使用して得られた計測データから、国際航業が考案した直角ターゲットの有効性及び地形測量における実用化について検証を行った。

##### 4.1 手持ちレーザスキャナにおける直角ターゲットの有効性

直角ターゲットは計測時において目標高が測

りやすく、読取誤差が軽減できる。また、座標変換において球ターゲットと同等の精度であり、標定時に点群から座標読取りしやすい形状であることから、直角ターゲットは有効であると判断できた。実作業における球/直角ターゲットのメリット/デメリットを以下に整理した(表5)。

##### 4.2 手持ちレーザスキャナの地形測量の補備測量における活用可能性

手持ちレーザスキャナと据置型レーザスキャナの計測に要する所要時間と身体的負担の影響要因を比較した結果を以下に示す(表6, 7)。

手持ちレーザスキャナは、歩きながら計測することによって遮蔽物の回避が可能になるため作業時間の短縮に繋がる。また、重量、操作性共に手持ちレーザスキャナが優位であり作業者の身体的負担の軽減が期待できる。

表5 実作業における球ターゲットと直角ターゲットのメリット/デメリット

|       | 球ターゲット                   |   | 直角ターゲット              |                              |
|-------|--------------------------|---|----------------------|------------------------------|
| メリット  | 広く普及しているため、入手しやすい        | あらゆる方向から認識が可能                           | 目標高が測りやすく、読取誤差が軽減できる | 点群からでも形状が確認しやすく、座標読取が効率的に行える |
| デメリット | 目標高となる球の中心を直接計測することができない | 点群から球の中心を直接確認することができないため、中心を求める計算が必要となる | 現時点で市販はされていない        | 方向によって形状が変化するため、自動認識しにくい     |

表6 手持ちレーザスキャナと据置型レーザスキャナの作業時間の事例

| レーザ器材          | 手持ちレーザスキャナ | 据置型レーザスキャナ |
|----------------|------------|------------|
| 移動             | —          | 5分         |
| 器機設置           | —          | 3分         |
| 計測設定           | 3分         | 2分         |
| 計測時間           | 15分        | 10分        |
| 1計測にかかる時間      | 18分        | 20分        |
| 計測回数(設置箇所数)    | 1回         | 4回         |
| 検証サイトの計測に要した時間 | 18分        | 80分        |
| 検証サイト内の測点数     | 36,830,478 | 36,059,070 |

表7 手持ちレーザスキャナと据置型レーザスキャナの作業での身体的負担への影響要因

| レーザ     | 手持ちレーザスキャナ       | 据置型レーザスキャナ          |
|---------|------------------|---------------------|
| 重量      | 1.3kg            | 7.5kg               |
| 熟練度     | 初心者でも簡単に操作可能     | 器機設置など測量に係る経験が必要    |
| 器材オプション | センサと記録装置のみで計測が可能 | 器機の他に専用のオプションアプリが必要 |

### 4.3 今後の課題

今後の課題として、以下の点を検討していく。

1. 他ターゲットでの検証  
他の形状のターゲットを用いて作業効率と精度を検証する。
2. ターゲット間の距離による作業効率の向上  
本検証では、ターゲットの設置間隔を約50mとしたが、精度確保及び作業効率の最適化を図るため、設置間隔及び配点バランスを検討する。
3. SLAMの自己位置推定誤差の軽減  
河川敷など特徴点となる地物が少ない箇所  
で計測を行う場合、自己位置推定が困難なため計測成果の精度劣化が懸念される。そこで、精度向上のため人工の特徴点（カラーコーン等）の設置について検討を行う。
4. 計測条件が異なる場所での計測方法  
本検証の対象地は河川敷であった。河川敷以外に都市部や山間部等異なる地域特性ごとに、効率的な計測手法を検討する。

### 5. 高さ方向の補正

本検証における高さの補正は、ターゲットと点群の較差の平均値を基にシフトしているが、鉛直線偏差のような傾きを持った誤差が見られたため、高さ方向の補正方法について検討する。

#### ■執筆者

川又 楓太 (かわまた ふうた)

国際航業株式会社

公共コンサルタント事業部

空間基盤技術部

futa\_kawamata@kk-grp.jp



(共著者) 所属は筆頭著者と同じ

榎本 みな (ますもと みな)

高野 敦 (たかの あつし)

大泉 純也 (おおいずみ じゅんや)

檀上 拓也 (だんじょう たくや)